

水力耦合效应下钻孔灌注桩施工控制技术研究

彭永文 胡小鹏 郭 庶

中建五局土木工程有限公司 湖南 长沙 410000

摘 要: 本文聚焦于水力耦合效应下钻孔灌注桩施工控制技术展开研究。首先阐述了水力耦合效应对地下室抗拔桩抗拔效果的影响,通过研究复杂地质条件物理力学特征,获取相关力学参数,分析不同土体在地下水作用下的性质变化,开展抗拔试验并提出抗拔施工效果控制措施。其次,探讨了地下水丰富时钻孔成孔效果控制,进行不同土层的钻孔试验,分析地下水渗透压力对成孔稳定性的影响,建立成孔质量控制方法。旨在为水力耦合效应下的钻孔灌注桩施工提供科学有效的控制策略,保障工程质量。

关键词: 水力耦合效应; 钻孔灌注桩; 抗拔桩; 施工控制技术

1 引言

钻孔灌注桩凭借其承载力高、适应性强等显著优势,在高层建筑、桥梁工程、地下空间开发等各类建筑工程中占据着不可或缺的基础形式地位,是保障建筑物稳定与安全的关键支撑。然而,在实际施工过程中,水力耦合效应犹如一把“双刃剑”,对钻孔灌注桩的施工质量产生着不可忽视的显著影响。水力耦合效应,本质上是地下水与土体、桩体之间复杂且动态的相互作用过程。这种相互作用会引发土体物理力学性质的改变,比如土体的含水量、孔隙水压力等发生变化,进而直接影响到桩体的受力性能和整体施工效果^[1]。具体而言,在地下室抗拔桩施工中,水力耦合效应会削弱抗拔桩与周围土体间的摩擦力和粘聚力,降低抗拔桩的抗拔效果,给建筑物的抗浮稳定性带来隐患;在钻孔成孔环节,当地下水丰富时,易引发孔壁坍塌、泥浆性能劣化等问题,严重影响成孔的稳定性与垂直度。因此,深入且系统地研究水力耦合效应下钻孔灌注桩施工控制技术,对于提高工程质量、保障施工安全、降低工程成本,具有至关重要的现实意义。

2 水力耦合效应下地下室抗拔桩抗拔效果控制

2.1 复杂地质条件物理力学特征研究

2.1.1 现场土体取样与试验

南昌高新区瑶湖花园七期安置房项目,位于南昌市高新区,包含四个地块,针对其复杂地质条件,通过环刀法、灌砂法在现场选取代表性区域对粉质黏土和砂土进行取样,共取粉质黏土样30组、砂土样25组,并在室内进行了含水量、比重、密度及直剪试验等基本物理力学参数测定,结果显示粉质黏土含水量平均25%、比重2.70-2.75、密度1.8-2.0g/cm³、黏聚力c平均20kPa、内摩擦角φ平均25°;砂土含水量平均15%、比重2.65-2.70、密度

1.6-1.8g/cm³、黏聚力c平均5kPa、内摩擦角φ平均35°,这些参数与地勘报告《南昌高新区瑶湖花园七期安置房项目岩土工程勘察报告》中的数据相吻合,例如,地勘报告中粉质黏土1层的压缩模量平均值为6.10MPa,与现场试验测得的密度和直剪试验结果相吻合,为地下室抗拔桩的设计提供了科学依据。

2.1.2 地下水作用下土体性质参数分析

在现场设置地下水位监测井,定期测量地下水位变化,同时在不同深度和位置取样进行力学性能试验。经过一年的监测发现,在地下水每年循环往复作用下,粉质黏土的含水量变化幅度可达10%-15%,砂土的含水量变化幅度为5%-10%。长期荷载作用下,对土体进行三轴压缩试验。当施加100kPa的长期荷载时,粉质黏土的黏聚力c降低了10%,内摩擦角φ降低了5°;砂土的黏聚力c降低了5%,内摩擦角φ降低了3°。这表明地下水的循环作用和长期荷载会显著降低土体的抗剪强度。

2.1.3 土体性质参数对抗拔力影响程度确定

采用有限元软件ABAQUS建立抗拔桩与土体相互作用的数值模型。模型中桩径取0.8m,桩长取15m,土体分为粉质黏土层和砂土层,厚度分别为8m和7m。分别改变土体的黏聚力c和内摩擦角φ的值,进行多组数值模拟计算。模拟结果显示,当粉质黏土的黏聚力c从20kPa降低到18kPa时,抗拔桩的抗拔力降低了8%;当内摩擦角φ从25°降低到23°时,抗拔力降低了6%。对于砂土,当黏聚力c从5kPa降低到4kPa时,抗拔力降低了5%;当内摩擦角φ从35°降低到33°时,抗拔力降低了7%。由此可知,内摩擦角的变化对抗拔力的影响相对较大。

2.2 水力耦合效应下抗拔试验

2.2.1 试验方案设计

选择施工现场的一块区域,布置3根抗拔试验桩,桩

径均为0.7m, 桩长均为24m。试验桩采用水下C35混凝土浇筑, 钢筋笼主筋采用HRB400级钢筋, 直径为16mm, 箍筋采用HRB400级钢筋, 直径为8mm。根据现场地下水位变化情况, 设置3种试验工况: 工况一为地下水位在桩顶以下2m处; 工况二为地下水位在桩顶处; 工况三为地下水位在桩顶以上1m处。

2.2.2 试验过程与数据采集

在试验过程中, 采用油压千斤顶分级加载, 每级荷载为100kN, 加载至桩体破坏或达到设计最大荷载2400kN。在每级荷载施加后, 稳定10分钟, 记录桩顶的位移和周围土体的变形情况。同时, 在试验桩周围布置孔隙水压力计, 监测地下水位的变化。试验数据显示, 在工况一下, 当荷载加至2400kN时, 桩顶位移为15mm; 在工况二下, 当荷载加至2200kN时, 桩顶位移达到15mm; 在工况三下, 当荷载加至2000kN时, 桩顶位移就达到了15mm。这表明地下水位越高, 抗拔桩的抗拔承载力越低。

2.2.3 试验结果分析

根据试验数据绘制抗拔桩的荷载-位移曲线, 分析不同地下水条件下抗拔桩的抗拔承载力和变形特性。在工况三下, 荷载-位移曲线在荷载达到2000kN后出现明显的转折, 表明桩体开始进入塑性变形阶段, 抗拔承载力急剧下降。而在工况一和工况二下, 曲线转折点对应的荷载分别为2400kN和2200kN。对比不同工况下的试验结果, 总结出水力耦合效应对抗拔桩抗拔效果的影响规律: 地下水位升高会导致土体的有效应力降低, 从而减小桩侧摩阻力, 降低抗拔桩的抗拔承载力; 同时, 地下水位的波动会加速土体的软化, 增加桩体的变形。

2.3 地下水位常年变化下抗拔桩抗拔施工效果控制措施

2.3.1 桩身设计优化

根据水力耦合效应对抗拔桩抗拔力的影响分析结果, 将桩径增大至0.8m, 桩长增加至28m。通过数值模拟计算, 优化后的抗拔桩在地下水位常年变化情况下的抗拔承载力提高了20%。采用变截面桩设计, 在桩身下部8m范围内将桩径扩大至1.0m, 形成扩底桩。扩底桩可以增加桩与土体的接触面积, 提高桩侧摩阻力^[2]。数值模拟结果显示, 扩底桩的抗拔承载力比普通桩提高了30%。

2.3.2 施工工艺改进

在施工过程中, 采用井点降水法降低地下水位。在抗拔桩施工区域周围布置10口井点管, 井点管间距为1.5m, 降水深度可达5m。通过降水, 将地下水位降低至桩顶以下3m处, 减少地下水对桩体抗拔效果的影响。对

于地下水位较高且难以降低的场地, 采用后注浆技术。在桩身混凝土浇筑完成后7天, 通过预埋在桩身的注浆管向桩侧土体注入水泥浆, 水泥浆的水灰比为0.5-0.6, 注浆压力控制在1-2MPa。后注浆可以改善桩侧土体的物理力学性质, 提高桩侧摩阻力, 经测试, 后注浆后抗拔桩的抗拔承载力提高了25%。

2.3.3 质量监测与检测

加强抗拔桩施工过程中的质量监测, 采用低应变动力试桩法对桩身完整性进行检测。在每根桩施工完成后, 立即进行低应变检测, 检测结果显示桩身完整性系数均大于0.9, 表明桩身质量良好。在工程使用过程中, 每半年对抗拔桩进行一次监测, 采用全站仪测量桩顶的位移, 监测结果显示桩顶位移均在设计允许范围内, 确保了抗拔桩的长期使用性能。

3 地下水丰富时钻孔成孔效果控制

3.1 不同土层钻孔试验

3.1.1 试验场地与设备选择

选择地下水水位较高的施工场地, 该场地地层从上至下依次为粉质黏土层(厚度6m)、砂土层(厚度5m)、砾石层(厚度4m)^[3]。选用反循环钻机进行钻孔试验, 钻头采用锥形三翼钻头。

3.1.2 土体剪切力及黏聚力值获取

在钻孔过程中, 对不同土层进行取样, 每层取样5组。采用直剪试验测定土体的剪切力和黏聚力值, 粉质黏土的黏聚力c平均值为18kPa, 内摩擦角 ϕ 平均值为23°; 砂土的黏聚力c平均值为4kPa, 内摩擦角 ϕ 平均值为33°; 砾石层的内摩擦角 ϕ 平均值为40°, 由于砾石层的黏聚力较小, 可忽略不计。

3.1.3 地下水渗透压力对成孔稳定性影响分析

通过现场监测和理论分析, 研究地下水渗透压力对不同土层成孔稳定性的影响。在粉质黏土层中, 当地下水渗透压力达到20kPa时, 土体开始出现软化现象, 孔壁出现轻微的坍塌; 在砂土层中, 当地下水渗透压力达到15kPa时, 引发流砂现象, 砂土颗粒随地下水流动, 导致孔壁不稳定; 在砾石层中, 当地下水渗透压力达到30kPa时, 砾石颗粒移动, 孔壁出现局部塌落。

3.2 高地下水位下复杂地层桩基施工成孔质量控制方法

3.2.1 护壁措施选择

对于粉质黏土层, 采用泥浆护壁。泥浆的比重控制在1.1-1.2之间, 黏度控制在18-22s之间, 含砂量控制在4%以内。通过调整泥浆参数, 形成稳定的泥浆护壁, 防止孔壁坍塌。在钻孔过程中, 定期检测泥浆的性能指

标,确保泥浆质量符合要求。对于砂土层和砾石层,采用套管护壁。在钻孔前先下入钢套管,套管直径比桩径大100mm,套管长度根据地层情况确定,一般每节长度为2-3m。在下套管过程中,采用振动锤将套管压入土中,确保套管与孔壁之间紧密贴合,防止地下水渗入孔内。

3.2.2 钻孔参数优化

在粉质黏土层中,将钻进速度控制在0.5-1m/min之间,转速控制在10-15r/min之间,减小钻头对孔壁的扰动。在砂土层中,提高泥浆的比重至1.2-1.3,黏度至22-25s,增加泥浆的护壁效果,同时将钻进速度控制在0.3-0.5m/min之间,转速控制在8-12r/min之间^[4]。在砾石层中,采用冲击钻进方式,控制冲击能量为500-800J,冲击频率为15-20次/min,避免孔壁破坏。

3.2.3 成孔质量检测与处理

在钻孔完成后,采用超声波测井仪和井径仪对成孔质量进行检测。超声波测井仪可以检测孔壁的完整性,井径仪可以测量孔径的大小。检测结果显示,孔径偏差控制在设计桩径的 $\pm 5\%$ 以内,垂直度偏差控制在1%以内。对于不符合设计要求的孔,及时采取处理措施。对于孔径偏小的孔,采用扩孔钻头进行扩孔;对于垂直度偏差较大的孔,采用纠偏装置进行纠偏。经处理后,成孔质量均满足桩基施工要求。

4 结论与展望

4.1 研究成果总结

通过开展复杂地质条件物理力学特征研究,获取了抗拔桩在现场粉质黏土、砂土中的力学参数,分析了不同土体在地下水作用下的性质参数变化,确定了土体性质参数对抗拔力的影响程度,为抗拔桩设计和施工提供了理论依据。进行了水力耦合效应下抗拔试验,总结了水力耦合效应对抗拔桩抗拔效果的影响规律,提出了地下水位常年变化下抗拔桩抗拔施工效果控制措施,包

括桩身设计优化、施工工艺改进和质量监测与检测等方面,有效提高了抗拔桩的抗拔性能和施工质量。对地下水丰富时不同土层进行了钻孔试验,分析了地下水渗透压力对成孔稳定性的影响,建立了高地下水位下复杂地层桩基施工成孔质量控制方法,包括护壁措施选择、钻孔参数优化和成孔质量检测与处理等,保障了钻孔成孔的质量和安全性。

4.2 研究不足与展望

本文的研究主要基于现场试验和数值模拟,由于实际工程地质条件的复杂性和不确定性,部分研究结果可能存在一定的局限性。未来的研究可以结合更多的实际工程案例,进一步验证和完善研究成果。水力耦合效应是一个复杂的过程,涉及地下水、土体和桩体之间的相互作用。目前的研究主要侧重于宏观层面的分析,对于微观层面的作用机制研究还不够深入。未来的研究可以加强微观层面的研究,揭示水力耦合效应的本质和规律。随着建筑技术的不断发展,新型桩基施工技术和材料不断涌现。未来的研究可以关注这些新技术和新材料在水力耦合效应下的应用,探索更加高效、环保、经济的桩基施工控制技术。

参考文献

- [1]梁洋.钻孔灌注桩在复杂地质条件下的桥梁桩基施工应用分析[J].中国水泥,2025,(06):113-115.
- [2]毛宗原,韩凯,方坤,等.粘结型复合大直径抗拔桩界面力学特性模拟研究[J].建筑结构,2025,55(07):143-150+104.
- [3]苏威.高层建筑抗拔桩设计优化研究[J].建筑施工,2024,46(12):2105-2109.
- [4]林茂.孔壁裂隙有压地下水钻孔灌注桩施工工法研究[J].福建建材,2021,(06):46-48.